# PART3 雲と降水

目標　雲粒，暖かい雨，冷たい雨について，それぞれ説明できる。

## Chapter1　雲

遠目にはふんわりとして見える雲ですが，実は小さな水や氷の粒の集まりです。ここでは，そのような雲粒の形成過程について学びましょう。

### 雲を構成する粒子

・**エーロゾル**

大気中に浮遊する直径（1nm ～ 10$\mu$m / 1$\mu$m ～ 100$\mu$m / 100$\mu$m ～ 1mm）程度の微粒子を**エーロゾル**という。

固体の例……海塩粒子，土壌粒子，火山灰，風成塵，すす

液体の例……火山ガスや人為起源の排気ガスから生じた硫酸

・**過冷却**

液体の水が固体になるためには，水分子が規則的に並ぶ必要がある。この条件が満たされない場合，凝固点〔0℃〕を下回っても水が液体として存在することがある。この状態を**過冷却**という。

大気中には，過冷却の水滴が存在することがある。

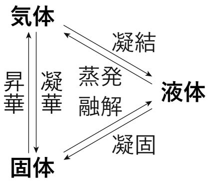
・**過飽和**

微小な水滴は表面の曲がり方が大きく，液体として不安定であり蒸発しやすい。そのため，気体のみしか存在しない環境では凝結が起こりにくく，水蒸気圧がその温度の飽和水蒸気圧を上回ることがある。この状態を**過飽和**という。

大気中の水蒸気は，エーロゾルのない環境では過飽和な状態でも安定に存在しやすい。

復習

**水の状態変化**（中学理科）




覚えておこう

空気中に含むことのできる水蒸気の限度量を圧力で表したものを**飽和水蒸気圧**といいます。

これは，水蒸気と水（または氷）が平らな面で接しているとき，一定時間内に境界面に飛び込む水分子と，境界面から飛び出す水分子の数が同じであるような水蒸気の圧力です。

・**雲粒**

大気中のエーロゾルは，水蒸気が状態変化してできる水滴や氷晶の核となる。水滴の核になるものを**凝結核**，氷晶の核になるものを**氷晶核**という。

水蒸気が凝結して（水滴 / 氷晶）となったり，凝華して（水滴 / 氷晶）となったりした直径（1nm ～ 10$\mu$m / 1$\mu$m ～ 100$\mu$m / 100$\mu$m ～ 1mm）程度の粒子を**雲粒**という。雲の中には，水滴と氷晶の一方または両方が含まれる。

知っておこう

雲の中の温度が 0℃を下回っていても，過冷却水として水滴（過冷却水滴）が存在することがあります。その重要性については，次の Chapter で学びます。

## ●雲のできかた

・**雲**

大気中に雲粒が浮かんでいるものを雲という。雲は，1cm$^3$ あたり（1 ～ 10 個 / 100 ～ 1000 個 / 1 万～ 10 万個）程度の雲粒によって構成されている。

・**雲の形成と発達**

ある程度水蒸気を含んだ空気塊が山の斜面に沿って上昇すると，初めは飽和していなくても，（乾燥断熱減率 / 湿潤断熱減率）にしたがって温度が低下して，やがて飽和に達する。水蒸気の凝結が起こり始めると，（乾燥断熱減率 / 湿潤断熱減率）にしたがって温度が低下するようになる。その結果として周囲の気温よりも空気塊の温度が（高く / 低く）なると，空気塊は自然と上昇を続けるようになる。このようなとき，雲は発達しやすい。

覚えておこう

飽和に達すると凝結が始まるので，その高度を凝結高度と呼びます。

**まとめ**

- 水蒸気圧がその温度の飽和水蒸気圧を上回っても凝結が起こっていない状態を＿＿＿＿＿という。
- 大気中の微粒子である＿＿＿＿＿＿＿を核として水蒸気が凝結または凝華してできたものを雲粒という。
- 雲の中には，水滴と氷晶の一方または両方が含まれる。

# Chapter2　降水

水滴や氷の粒が大気中に浮かんでいるものが雲ですが，そのような粒はどのようにして降水になるのでしょうか。ここでは，降水過程について学びましょう。

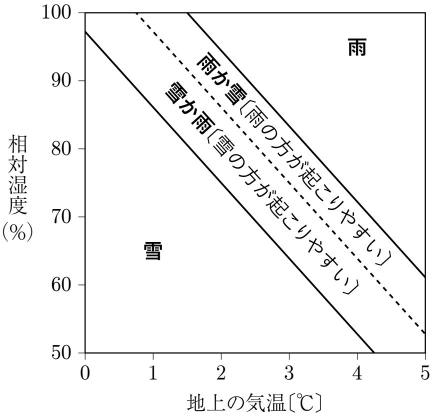
## 降水粒子

### ・降水粒子

雲粒が何らかの原因で成長すると，上昇気流によって支えられずに地表に向けて落下するようになる。これが降水であり，降水粒子の直径は（1 μm ～ 100 μm / 100 μm ～ 1mm）程度である。

### ・雨と雪

降水粒子は，上空で氷晶であったとしても，地表付近の気温が高ければ融けて水滴となることがある。日本付近の雨の多くは，このようにして生じる。




雪は，上空の氷晶が融けずに地表付近に達したものである。

## 降水過程

### ・衝突と併合

雲中の水滴の移動速度は，その半径によって異なる。そのため，大きな水滴と小さな水滴が共存しているとき，大きな水滴は小さな水滴に衝突し，それを取り込んで成長する。

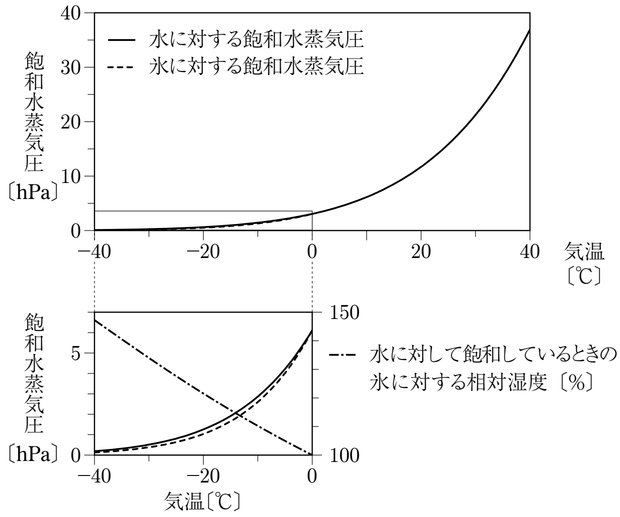
### ・蒸発と凝華

雲中の温度が約－40℃～ 0℃のとき，過冷却水滴が氷晶と共存する。ここで，同じ温度で比べたとき，水に対する飽和水蒸気圧は氷に対する飽和水蒸気圧よりも（大きい / 小さい）。そのため，水に対して（不飽和 / 過飽和）だが氷に対して（不飽和 / 過飽和）という状況が存在しうる。

**知っておこう**

気温が－40℃を下回ると，過冷却水滴が凝固しやすくなります。そのため，雲の中で過冷却水滴と氷晶が共存する温度帯は約－40℃～ 0℃だといえます。

このとき，過冷却の水滴からは水が蒸発し，その水が氷晶に凝華する。蒸発によって生じた水蒸気が速やかに失われるので，新たな水の蒸発が起こりやすく，氷晶は急速に成長する。




・**暖かい雨**

雲中の温度が 0℃を上回り氷晶が存在しない条件で，おもに（衝突と併合 ／ 蒸発と凝華）によって成長した水滴が落下した雨を**暖かい雨**という。

・**冷たい雨**

雲中の温度が約 0℃を下回って氷晶が存在する条件で，おもに（衝突と併合 ／ 蒸発と凝華）によって成長した氷晶が落下し，地表付近で融けて生じた雨を**冷たい雨**という。

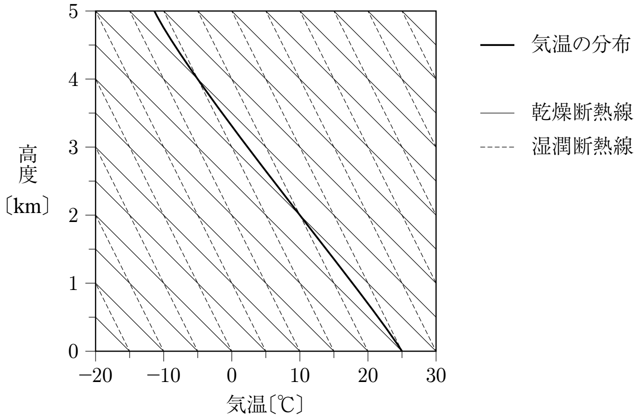
まとめ

・氷晶の存在しない雲の中で，おもに衝突と併合によって成長した水滴が落下した雨を＿＿＿＿＿＿という。
・過冷却水滴が氷晶と共存するとき，過冷却水滴から＿＿＿した水蒸気が氷晶に＿＿＿するため，氷晶は急速に成長する。
・氷晶の存在する雲の中でおもに蒸発と凝華によって成長した氷晶が落下し，融けて生じた雨を＿＿＿＿＿＿という。

# Chapter3　演習問題

ここでは，大気中の水蒸気が雲を形成し，雨となるまでの過程について確認しましょう。

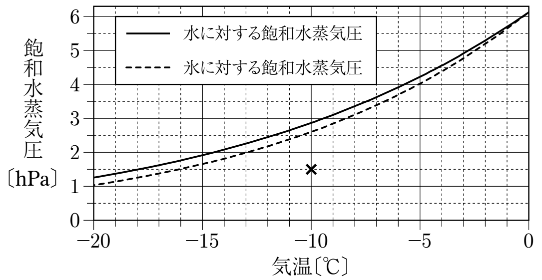
**問題**⑴　次の図は，A 地点の上空の気温の分布を表したものです。この図について述べた下の文章中の（　　）について，正しいものを選びましょう。ただし，乾燥断熱線と湿潤断熱線は，それぞれ乾燥断熱減率と湿潤断熱減率にしたがう温度変化を表しています。




A 地点の地表直上にあり，周囲と同じ温度で，かつ水蒸気で飽和していない空気塊を考える。この空気塊が何らかの原因で持ち上げられ，高度 1km に達したときに飽和に達して雲を作り始めた。このときの空気塊の温度は（15℃ / 20℃）であり，周囲の気温よりも（高い / 低い）。そのため，空気塊の密度は周囲の大気の密度より（大きく / 小さく），空気塊が自然と上昇することはない。

この空気塊がさらに持ち上げられたとすると，高度（2km / 4km）で周囲と同じ温度になる。これよりも高い高度まで空気塊が持ち上げられると，空気塊の温度が周囲の気温よりも（高い / 低い）状態になる。このとき，空気塊の密度が周囲の大気の密度より（大きく / 小さく），空気塊が自然と上昇するため雲は鉛直方向に発達しやすいといえる。

問題(2)　次の図は，－20℃～0℃における飽和水蒸気圧を表したものです。降水の形成について述べた下の文章中の（　　）について，正しいものを選びましょう。




雲中の温度が約0℃を下回る雲で氷晶が成長し，落下して地表付近で融けることで生じた雨を（暖かい雨 / 冷たい雨）という。雲の中における氷晶の成長には，過冷却水滴が重要な役割を果たしていることが多い。

氷晶と過冷却水滴が含まれている×印の状態の空気塊を考える。この空気塊を同じ圧力のまま冷却したとき，（－18℃ / －16℃）になると氷に対して飽和に達する。さらに冷却を続けたとき，氷に対して過飽和なので，（水蒸気の氷晶への凝華 / 氷晶の水蒸気への昇華）が起こりやすい。一方，（－20℃ / －18℃）になるまでの間は水に対して不飽和なので，（水蒸気の過冷却水滴への凝結 / 過冷却水滴の水蒸気への蒸発）が起こりやすい。つまり，（－16℃～－18℃ / －18℃～－20℃）の条件では，空気塊に元々含まれていた水蒸気だけでなく，過冷却水滴を構成していた水分子が次々と水蒸気になって氷晶を成長させると考えることができる。

# 第13講 PART3 確認問題

問1 次の問いに答えよ。

(1) 次の文の空欄ア，イに入る語句の組合せとして最も適当なものを，下の①～④のうちから一つ選べ。

過冷却とは，水が（ ア ）を下回っても（ イ ）として存在する状態のことである。

① ア：凝固点 イ：気体
② ア：凝固点 イ：液体
③ ア：沸点 イ：気体
④ ア：沸点 イ：液体

(2) 次の文の空欄ウ，エに入る語句の組合せとして最も適当なものを，下の①～④のうちから一つ選べ。

過飽和とは，水蒸気圧がその温度の（ ウ ）を（ エ ）いる状態のことである。

① ウ：飽和水蒸気量 エ：上回って
② ウ：飽和水蒸気量 エ：下回って
③ ウ：飽和水蒸気圧 エ：上回って
④ ウ：飽和水蒸気圧 エ：下回って

問2 雲を構成する粒子について，次のA～Dの説明にあてはまるものの組合せとして最も適当なものを，下の①～④のうちから一つ選べ。

A 水蒸気が水滴や氷晶となった直径 1 μm ～ 100 μm 程度の粒子
B 大気中に浮遊する直径 1nm ～ 10 μm 程度の微粒子
C 水蒸気が状態変化してできる水滴の核になるもの
D 水蒸気が状態変化してできる氷晶の核になるもの

① A：雲粒 B：エーロゾル C：氷晶核 D：凝結核
② A：雲粒 B：エーロゾル C：凝結核 D：氷晶核
③ A：エーロゾル B：雲粒 C：凝結核 D：氷晶核
④ A：エーロゾル B：雲粒 C：氷晶核 D：凝結核

問３ 次の文章を読み，下の問いに答えよ。

a過冷却水滴が氷晶と共存するとき，（ オ ）に対しては不飽和だが，（ カ ）に対しては過飽和であるという状況が起こりうる。このとき，過冷却水滴は蒸発して水蒸気となり，その水蒸気は凝華して氷晶を成長させる。このような過程で成長した氷晶が落下し，地表付近で融けて生じた雨を（ キ ）という。

(1) 下線部ａについて，このときの温度帯として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① −60℃～−40℃ ② −40℃～ 0℃
③ 0℃～ 10℃ ④ 10℃～ 30℃

(2) 空欄オ～キに入る語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① オ：氷 カ：水 キ：暖かい雨
② オ：氷 カ：水 キ：冷たい雨
③ オ：水 カ：氷 キ：暖かい雨
④ オ：水 カ：氷 キ：冷たい雨

# 第 13 講　大気の構造

## PART1　大気の組成

問題⑴　４番目，0.04%，中間圏

問題⑵　吸収，北半球，北半球

問題⑶　b

## PART2　断熱変化と大気の安定性

問題⑴　増加，大気を押しのける，減少

問題⑵　凝結，凝華，潜熱，水分子，空気塊，小さい，10

問題⑶　ア：6，条件付き不安定

問題⑷　a，b，c

## PART3　雲と降水

問題⑴　15℃，低い，大きく，2km，高い，小さく

問題⑵　冷たい雨，－16℃，水蒸気の氷晶への凝華，
－18℃，過冷却水滴の水蒸気への蒸発，－16℃ ～ －18℃

## PART4　フェーン現象

問題⑴　ア：45.5　イ：36.1

問題⑵　ウ：30.7

問題⑶　エ：24.5　オ：1.8

問題⑷　カ：500　キ：26.3　ク：22.5　ケ：37.2

# 第13講　PART3　確認問題　解答

## 問1

(1)　②

解説：
水の凝固点は 0℃であるが，0℃より低い温度でも液体のままで存在することがある。この状態を過冷却という。

(2)　③

解説：
飽和水蒸気圧は，その温度の空気中に含むことができる水蒸気の限度量を圧力で表したものである。水蒸気圧が飽和水蒸気圧を上回っている状態のことを過飽和という。

## 問2

②

解説：
大気中のエーロゾルは，水蒸気が状態変化してできる水滴や氷晶の核となり，雲の中には，水滴と氷晶の一方または両方が含まれる。

## 問3

(1)　②

解説：
− 40℃を下回ると過冷却水滴が凝固しやすくなる。

(2)　④

解説：
水に対して不飽和なので，蒸発して水蒸気になる。また，氷に対して過飽和なので，その水蒸気は凝華して氷晶を成長させる。蒸発と凝華によって成長した氷晶が落下し，融けて生じた雨を冷たい雨という。